

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA TUBERÍAS DE HORMIGÓN

ARMADO O POSTESADO CON CAMISA DE CHAPA

1. DESCRIPCIÓN DE LA TUBERÍA.

Los tubos de hormigón armado están formados por una pared de hormigón que contiene una camisa cilíndrica de chapa que le confiere estanqueidad, normalmente situada más próxima al paramento interior, y una armadura transversal, dispuesta en una o dos capas, y rigidizada mediante soldadura con otra longitudinal, que se sitúa más próxima al paramento exterior del tubo. En el hormigón comprendido entre el paramento interior del tubo y la camisa de chapa suele disponerse una armadura transversal y longitudinal o bien un mallazo.

La tubos de hormigón postesado están formados por un núcleo de hormigón que contiene una camisa cilíndrica de chapa, que le confiere estanqueidad, un alambre de acero de alta resistencia enrollado helicoidalmente alrededor del núcleo a una tensión previamente fijada, que se designa "tensión de zunchado", y una capa exterior de revestimiento cuya misión es la protección del alambre.

2. NORMATIVA.

De manera general, los materiales utilizados, el procedimiento de fabricación, los cálculos constructivos, la manipulación, el transporte hasta pie de obra y las pruebas tanto en fábrica como en obra, deberán cumplir la "Instrucción del Instituto Eduardo Torroja para los tubos de hormigón armado o pretensado" de Junio de 1980.

3. MATERIALES.

- Cemento.

El tipo de cemento utilizado es el denominado Portland.

En los casos en que el contenido de sulfatos, expresado en SO_4 exceda de 400 mg/l en el agua, o de 3000 mg/kg en el terreno, habrá que recurrir a los cementos resistentes a los sulfatos, que en el vigente Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la recepción de cementos, se designan como cementos SR.

Si el contenido de sulfatos expresado en SO_4 exceden de 600 mg/L en el agua o de 12000 mg/kg en el terreno, es indispensable aplicar sobre el tubo una protección adicional a base de una pintura bituminosa tipo brea-epoxi con un consumo de $0,3 \text{ kg/m}^2$.

- Áridos.

La naturaleza de los áridos, su preparación y granulometría son tales que permiten garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón.

El árido empleado en la fabricación del hormigón de los tubos cumple las condiciones exigidas en las vigentes Instrucciones para el proyecto y ejecución de las obras de hormigón armado o pretensado.

- Agua.

El agua, tanto la empleada en el amasado como en el curado del hormigón de los tubos, son las sancionadas como aceptables por la práctica.

- Hormigones y morteros.

Se estudia la composición de los hormigones y morteros con el fin de conseguir la impermeabilidad, resistencia y durabilidad exigidas.

Los hormigones y morteros de los tubos de hormigón armado o pretensado cumplen las condiciones exigidas en las vigentes Instrucciones para el proyecto y ejecución de las obras de hormigón armado o pretensado.

- Chapa de acero para las camisas.

La chapa empleada en la fabricación de las camisas de los tubos de hormigón armado o postesado es de acero dulce y de espesor uniforme.

Su composición química, sobre producto, cumplen las prescripciones siguientes, expresadas en tanto por ciento:

Fósforo: $P < 0,075$

Azufre: $S < 0,065$

Las características mecánicas cumplen las prescripciones siguientes:

- La carga unitaria de rotura es $f_s \geq 30 \text{ kp/mm}^2$.

- El límite elástico es $f_y \geq 22 \text{ kp/mm}^2$.

- El alargamiento de rotura no es inferior al 20 %.

- En el ensayo de doblado simple en frío a 180° , sobre un mandril de diámetro igual al espesor de la chapa, ésta no presentará grietas.

- Armaduras pasivas.

Las armaduras pasivas son de acero y están formadas por barras lisas, barras corrugadas o mallas electrosoldadas.

Las armaduras pasivas de los tubos de hormigón armado o pretensado, cumplen respectivamente, las condiciones exigidas en las vigentes Instrucciones para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón armado o pretensado.

- Alambres de pretensado.

Los alambres de pretensado cumplen la normativa vigente (Instrucción para el proyecto y ejecución de las obras de hormigón pretensado).

La relajación a las mil horas, a temperatura de $20 \pm 1^\circ \text{C}$, y para una tensión inicial igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima f_{max} , garantizada, tiene los valores máximos siguientes:

Aceros de muy baja relajación: 2 % (grado R-2).

Aceros de relajación normal: 5 % (grado R-5).

Además por las características específicas de este tipo de elementos, se incrementarán las exigencias de ductilidad. Así:

- El número de doblados-desdoblados que soporta el alambre en la prueba de doblado alternativo, realizada según UNE 7401-76, no será inferior a siete.

- La estricción obtenida a partir de un ensayo de tracción, según UNE 7194-73, no será inferior a los siguientes valores (en %).

Estricción %	f_{max} (kp/mm ²)			
	150	160	170	180
O,/ 5	35	34	32	31
O,/ 6	34	33	31	30
O,/ 7	33	32	30	---
O,/ 8	32	31	30	---

4. TOLERANCIAS.

- Diámetro interior del tubo.

La tolerancia para el diámetro interior del tubo se establece en $\pm 1\%$ de su diámetro nominal, sin exceder de 15 mm. Además, el promedio de los diámetros mínimos

en las cinco secciones resultantes de dividir la longitud del tubo en cuatro partes iguales, no es inferior a su diámetro nominal.

- Espesor del tubo.

La tolerancia para el espesor del tubo se establece en $\pm 5\%$ de su espesor nominal. Esta misma tolerancia se establece para el núcleo de los tubos pretensados.

- Ovalización del tubo en la zona de junta.

La ovalización en la zona de junta es tal que la diferencia entre sus diámetros interiores máximo y mínimo no excede del $0,5\%$ del diámetro nominal del tubo.

- Diámetros de la camisa de chapa y de la jaula de armaduras.

Con respecto a la tolerancia para los diámetros de la camisa de chapa o de las capas de armadura, la diferencia entre sus diámetros interiores máximo y mínimo no es superior al 1% de los diámetros nominales correspondientes.

- Longitud.

La tolerancia para la longitud del tubo se establece en $\pm 1\%$ de su longitud nominal.

- Juntas de moldes.

La tolerancia para las juntas de moldes es tal que el resalto que originen en el paramento de hormigón del tubo no exceda de $3,5\text{ mm}$. Si se sobrepasa este valor máximo, se repasa la junta con radial.

- Diámetros de los alambres de pretensar.

La tolerancia para los diámetros equivalentes de los alambres de pretensar será la que se indica en la siguiente tabla:

Diámetro equivalente en mm	Tolerancia
O, ≤ 4	$\pm 0,04$
O, $\leq 5,6,7$	$\pm 0,05$
O, ≤ 8	$\pm 0,06$

- Tensión de zunchado.

La tolerancia para la tensión de zunchado se establece en $\pm 5\%$ de la tensión fijada en el proyecto para esta fase, siempre que la tensión del alambre no supere el $0,80 f_{\max,k}$.

5. CALCULO MECÁNICO DE LA TUBERÍA.

Las acciones básicas que se consideran en los tubos de hormigón armado o pretensado, dado el tipo de elemento estructural que es el tubo, y su forma de fabricación y colocación, son las acciones directas, a las que hay que añadir las acciones debidas al pretensado, cuando se trata de tubos de este tipo. Las acciones indirectas, con una cuidadosa fabricación y colocación de los tubos, son muy secundarias frente a las anteriores y normalmente no se consideran en el cálculo (salvo las acciones reológicas, a efectos de pretensado).

Las acciones directas que siempre se tienen en cuenta son:

- Peso propio.
- Carga del fluido.
- Cargas verticales del relleno.
- Cargas concentradas.
- Empuje lateral.
- Presión máxima de trabajo.

En la determinación de las cargas verticales del relleno se diferencia entre la tubería situada en zanja, en zanja terraplenada o en terraplén. Un tubo está colocado en zanja o terraplén según que la cota de la generatriz superior del tubo esté situada por debajo o por encima, respectivamente, de la rasante del terreno primitivo. Un tubo está colocado en zanja terraplenada cuando sobre la zanja que hay que rellenar se efectúa un terraplén.

Para el cálculo de las cargas verticales que producen los rellenos, se sigue la teoría de Marston. Este método considera la compactación del relleno lateral, el peso del relleno, y las fuerzas de rozamiento que se originan en el mismo, y que producen aumento o disminución del peso del relleno que gravita directamente sobre el tubo, en función del tipo de colocación.

Las cargas concentradas se aplican con los coeficientes de impacto correspondientes.

El dimensionamiento transversal de los tubos se efectúa según los criterios que para cada tipo de tubo se indican a continuación.

5.1. TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO CON CAMISA DE CHAPA.

Los tubos se dimensionan para que en la hipótesis pésima de carga, con los coeficientes de seguridad fijados, de acuerdo con lo indicado en la vigente Instrucción para el Proyecto y ejecución de obras de hormigón armado, no se rebasen los estados límites últimos ni de servicio.

Los estados límites de rotura y fisuración controlada se comprueban en las secciones de base, riñones y clave, de acuerdo con sus respectivas solicitaciones.

Se adoptan como cuantías de chapa y de armadura transversal los valores máximos obtenidos para el interior y el exterior de las mencionadas secciones, respectivamente. Las armaduras se calculan por el método simplificado del momento tope.

Con el fin de estar en buenas condiciones respecto al estado límite de fisuración controlada, se limita:

- La tensión de trabajo del acero en servicio a 1300 kp/cm^2 , con independencia del valor del límite elástico del acero.
- Los diámetros de las armaduras, los espesores de chapa y las cuantías..

Las hipótesis de cálculo habituales para este tipo de tubos son las siguientes:

- Resistencia característica del hormigón a compresión: 350 kp/cm^2 .
- Resistencia características del acero: 2400 kp/cm^2 .
- Resistencia de cálculo del acero: 1300 kp/cm^2 .
- Coeficiente de minoración del acero: 1,1.
- Coeficiente de minoración del hormigón: 1,5.
- Coeficiente de mayoración de cargas: 1,5.
- Colocación: Zanja rellenada. Relleno compactado.
- Apoyo: Granular 90° u Hormigón 120° .
- Alturas de relleno sobre la generatriz superior del tubo: entre 1 y 3 m.
- Ancho de zanja: El resultante en la generatriz superior del tubo cuando el ancho de la zanja a nivel de la solera es el diámetro exterior + 0.6 m. con un talud 1/5.
- Densidad del relleno: $1,8 \text{ T/m}^3$
- Angular de rozamiento interno del relleno: 30° .
- Tipo de relleno: Cohesivo, arena arcillosa.
- Cargas concentradas: Eje de 13 T.

5.2. TUBOS DE HORMIGÓN POSTESADO CON CAMISA DE CHAPA.

En el procedimiento de cálculo se parte de las fórmulas de Lamé, que asimilan el tubo postesado a tres capas cilíndricas, coaxiales y adherentes (núcleo homogeneizado, espiras de pretensado y revestimiento) y se estudian las tensiones en el hormigón y en el acero de pretensar en las siguientes fases:

- Cuando ha finalizado el zunchado, con las pérdidas instantáneas, y antes de producirse las pérdidas diferidas.
- Cuando se han producido todas las pérdidas diferidas.
- Cuando actúan todas las ovalizaciones de la hipótesis pésima de carga.
- Cuando actúa la presión máxima de trabajo.

Los tubos se dimensionan para que, en cualquiera de sus secciones, y bajo la hipótesis pésima de carga, se cumplan, una vez que han tenido lugar todas las pérdidas, las condiciones siguientes:

- El hormigón del primario esté sometido a una compresión igual o superior a 5 kp/cm^2 .
- La tensión en el alambre de pretensar no supere su tensión de zunchado.
- El hormigón del revestimiento no esté sometido a una tracción superior a la máxima admisible.

En el proceso de zunchado del núcleo se tendrán en cuenta, además, las condiciones siguientes:

- Que durante el zunchado, la tensión del alambre no supere el $0.80 f_{\text{max,k}}$.
- Que inmediatamente después de terminado el zunchado, la fuerza de tesado proporcione a las armaduras activas una tensión no mayor que $0.75 f_{\text{max,k}}$.
- Que la compresión del hormigón del primario no supere el 0.60 de la resistencia característica a compresión del hormigón en ese momento.
- Que en la chapa no se supere el $0.80 f_{yk}$.

En el estado final de pretensado, y a efectos de cálculo se cumplirá además que el valor característico final de pretensado adoptado (el obtenido una vez deducidas todas las pérdidas) no sea superior al que corresponde a una tensión en las armaduras activas igual a $0.60 f_{\text{max,k}}$.

Las hipótesis de cálculo habituales para este tipo de tubos son las siguientes:

- Espesor de la camisa: 1,5 mm.
- Módulo de elasticidad del acero de la camisa : 2100000 kp/cm^2 .
- Resistencia características del primario al zunchar: 400 kp/cm^2 .
- Resistencia características del primario al final: 450 kp/cm^2 .
- Resistencia características del revestimiento: 300 kp/cm^2
- Tensión de rotura del acero de pretensar: 18000 kp/cm^2 .
- Módulo de elasticidad del acero de pretensar: 2000000 kp/cm^2 .
- Tensión de zunchado: 13500 kp/cm^2 .
- Relajación final: 6 %
- Coeficiente de fluencia del primario: 1,50.
- Coeficiente de fluencia del revestimiento: 0,75.
- Coeficiente de retracción del primario: 0,0002.
- Coeficiente de retracción del revestimiento: 0,0003.
- Colocación: Zanja rellenada. Relleno compactado.
- Apoyo: Granular 90º u hormigón 120º.
- Alturas de relleno sobre la generatriz superior del tubo: entre 1 y 3 m.
- Ancho de zanja: El resultante en la generatriz superior del tubo cuando el ancho de la zanja a nivel de la solera es el diámetro exterior + 0.6 m. con un talud 1/5.
- Densidad del relleno: $1,8 \text{ T/m}^3$
- Angular de rozamiento interno del relleno: 30º.
- Tipo de relleno: Cohesivo, arena arcillosa.
- Cargas concentradas: Eje de 13 T.

6. CONTROL DE LA FABRICACIÓN.

- Control de las camisas de chapa.

Los controles que se efectúan son los siguientes:

- Comprobación del espesor de la chapa de la camisa y de las boquillas.
- Comprobación del diámetro y longitud de la camisa.
- Prueba de presión interior, mediante la introducción de una presión que produzca en la chapa una tensión de 1200 kp/cm^2 . Esta presión se mantiene el tiempo suficiente para comprobar todas las soldaduras. Los eventuales poros son reparados y la camisa se prueba nuevamente hasta que no se observa ninguna fuga.
- Control de las jaulas de armadura pasivas (para tubos de hormigón armado).

Los controles que se efectúan son los siguientes:

- Comprobación del diámetro de las espiras y generatrices, así como de su separación.
- Comprobación del diámetro y longitud de la jaula.
- Comprobación de la indeformabilidad de la jaula, mediante la soldadura entre las espiras y generatrices. Se comprueba que no hay en las soldaduras pérdidas de material que disminuyan el diámetro de las espiras.
- Control del tesado de las armaduras activas (para tubos de hormigón postesado).

En los tubos postesados se controlan las operaciones de tesado de las armaduras activas asegurando el correcto anclaje de las mismas. Los controles que se efectúan son los siguientes:

- Comprobación del diámetro de los alambres y distancia entre ellos.
- Comprobación de la tensión del alambre.
- Comprobación de que el hormigón ha alcanzado la resistencia exigida para el tesado de la armadura postesa.
- Control del hormigonado.

El hormigonado, transporte, colocación y compactación del hormigón o mortero se

realiza de acuerdo con las prescripciones establecidas en las vigentes Instrucciones para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón armado o pretensado, según se trate de tubos de hormigón armado o pretensado, respectivamente.

También se comprueba la geometría del tubo, para asegurarse de su diámetro interior, espesor, ovalización en zona de juntas, excentricidades de camisa y/o armaduras, longitud y las juntas de los moldes cumplen las prescripciones establecidas con las tolerancias fijadas.

En tubos de hormigón pretensados se comprueba que el espesor del revestimiento exterior, cuya misión es la protección del alambre que pretensa transversalmente al núcleo, es tal que el recubrimiento mínimo de las espiras es de 25 mm.

7. TRANSPORTE Y MONTAJE.

7.1. TRANSPORTE.

Los tubos se transportan sobre unas cunas de madera que garantizan la inmovilidad transversal y longitudinal de la carga, así como la adecuada sujeción de los tubos apilados, que no estarán directamente en contacto entre sí, sino a través de elementos elásticos, como madera, gomas o sogas.

Los tubos se descargarán cerca del lugar donde deban ser colocados en la zanja y de forma que puedan trasladarse con facilidad al lugar en que hayan de instalarse. Se evitará que el tubo quede apoyado sobre puntos aislados. El acopio de los tubos en obra se hará en posición horizontal, sujetos mediante calzos de madera.

Durante su permanencia en la obra, antes del tapado de las zanjas, los tubos deberán quedar protegidos de acciones o elementos que puedan dañarles. Igualmente se evitará que estén expuestos durante largo tiempo a condiciones atmosféricas en que puedan sufrir secados excesivos o calores o fríos intensos.

7.2. ZANJAS PARA ALOJAMIENTO DE TUBERÍAS.

La profundidad mínima de las zanjas se debe determinar de forma que las tuberías queden protegidas de los efectos del tránsito y cargas exteriores, así como preservadas de las variaciones de temperatura del medio ambiente.

La anchura de la zanja será la necesaria para que los operarios trabajen en buenas condiciones. Como norma general, se dejará un espacio mínimo de 0.30 m. a cada lado del tubo, medido entre la intersección del talud con la solera y la proyección sobre ésta del riñón del tubo.

El talud de las paredes de la zanja será función del tipo de terreno. El valor mínimo, propio de terreno rocoso, será el talud 1/10, y se recomienda para terrenos normales, el talud 1/5.

7.3. MONTAJE DE TUBOS.

Los tubos no se apoyarán directamente sobre la rasante de la zanja, sino sobre camas.

Se consideran dos tipos: cama granular y cama de hormigón, para cuya elección se atenderá a dos consideraciones fundamentales: tipo de junta y características del terreno.

a) En terrenos de gran resistencia, tales como los rocosos, cualquiera que sea el tipo de junta, puede disponerse cama de grava, gravilla o arena con un espesor medio que oscile entre los quince y los treinta centímetros, en función del diámetro del tubo.

b) En terrenos de tipo granular, cualquiera que sea el tipo de junta, puede usarse como cama el propio fondo de la zanja bien escarificado. Como orientación de lo que se entiende por terreno granular, puede citarse lo que se indica en la norma AWWA C-150-71 que define el material granular por la siguiente curva granulométrica:

Tamaño del tamiz	% que pasa
3/4"	100
1/2"	90
3/8"	40-70
Nº 4	0-15
Nº 8	0-5

c) En terrenos normales, puede adoptarse cama granular para los tubos de junta elástica y cama de hormigón para los tubos de junta rígida.

Para la ejecución de la cama de hormigón se extenderá una solera de hormigón pobre, de 0.10 a 0.15 m de espesor, según los diámetros de los tubos, sobre el fondo de la zanja, y sobre esta solera se situarán los tubos, convenientemente calzados, de forma que la distancia entre su generatriz inferior y la solera sea al menos de 0.15 m. Posteriormente, sobre la solera antes citada, se extenderá un hormigón en masa cuya resistencia no sea inferior a 100 kp/cm² hasta alcanzar el ángulo de la cama de apoyo que se fije en Proyecto, que normalmente será de 90 o 120°. Las camas se interrumpirán en un espacio de 0.60 m. como mínimo, centrado con las juntas, para hacer posible la ejecución de éstas.

Los tubos se bajarán al fondo de la zanja con los elementos adecuados, según el peso y longitud del tubo. Las tuberías y zanjas se mantendrán libres de agua.

Cuando se interrumpa la colocación de la tubería se taponarán los extremos libres, para impedir la entrada de agua o cuerpos extraños.

7.4. JUNTAS.

Los anillos de material elástico deberán contar con las adecuadas protecciones durante su suministro y acopio y deberán manipularse con cuidado.

En el momento de su montaje presentarán una superficie suave, exenta de fisuras, poros, burbujas o rebabas.

Las superficies del tubo en contacto con el anillo estarán limpias y exentas de cualquier defecto superficial que puedan afectar a la estanqueidad o dañar el anillo.

Durante el montaje de la junta elástica, se efectuará el encaje correcto del anillo y se comprobará que los paramentos verticales de los extremos macho y hembra están debidamente separados, para poder absorber los posibles movimientos de la junta sin entrar en contacto ni desenchufarse. Asimismo, no debe agotarse en esta operación toda la deformación posible de la junta, para poder absorber eventuales asientos diferenciales posteriores.

7.5. RELLENO DE ZANJAS.

El relleno de las zanjas se compactará por tongadas sucesivas, muy especialmente en las zonas contiguas a los tubos.

Las tongadas, de una altura máxima de 0.50 m hasta unos 0.50 m. por encima de la generatriz superior del tubo, se rellenarán con suelo de tamaño máximo 20 mm. y con un grado de compactación, al menos, del 95 por 100 del proctor normal. Por encima de los 0.50 cm. el relleno podrá contener material más grueso, pero se recomienda no emplear elementos de dimensiones superiores a 0.20 m. en el primer metro. Cuando la traza discorra por zonas no habitadas, bastará con compactar hasta la cota de 1 m. por encima de la generatriz superior del tubo.

El procedimiento empleado para terraplenar zanjas y consolidar rellenos, no producirá movimientos ni daños en las tuberías.

8. PRUEBAS DE PRESIÓN INTERIOR.

8.1. TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO CON CAMISA DE CHAPA.

- Prueba de fisuración controlada.

Se someterá a esta prueba un tubo de cada lote de 100 salvo que el Director de obra autorice expresamente la formación de lotes de mayor número.

La prueba consistirá en someter el tubo, en fábrica, durante quince minutos, a la presión de timbre. El resultado de la prueba será satisfactorio si, como consecuencia de la misma, el tubo no presenta fisura alguna, sensiblemente longitudinal, superior a 0,2 mm. de abertura en 0,30 m. de longitud, ininterrumpidamente.

Cuando el tubo elegido no satisfaga la prueba, se repetirá ésta sobre otras dos muestras que se elegirán al azar del lote. Si los resultados de las dos nuevas pruebas son satisfactorios, se aceptará el lote; en cuanto algunos de ellos sea desfavorable, los tubos

que componen el lote no se considerarán aptos para la presión de timbre correspondiente, excepto los que ensayados uno a uno den resultado positivo.

- Prueba de rotura.

Se someterá a esta prueba un tubo de cada lote de 200 salvo que el Director de obra autorice expresamente la formación de lotes de mayor número.

La prueba consistirá en someter el tubo, en fábrica, durante quince minutos, a la presión de rotura, que se tomará igual a al presión de timbre multiplicada por 1,85:

$$p_{rotura} = 1,85 p_{timbre}$$

El resultado de la prueba será satisfactorio si, como consecuencia de la misma el tubo no presenta pérdida de agua.

Cuando el tubo elegido no satisfaga la prueba, se repetirá ésta sobre otras dos muestras que se elegirán al azar del lote. Si los resultados de las dos nuevas pruebas son satisfactorios, se aceptará el lote; en cuanto algunos de ellos sea desfavorable, el lote quedará en entredicho. En este último caso, el lote se supondrá, en principio, apto para una presión de timbre igual a la original, disminuida en un kp/cm^2 . y se procederá a confirmarlo mediante la prueba a la nueva presión correspondiente.

8.2. TUBOS DE HORMIGÓN PRETENSADO CON CAMISA DE CHAPA.

- Prueba de fisuración controlada del primario

Se someterá a esta prueba un primario de cada lote de 100, salvo que el Director de obra autorice expresamente la formación de lotes de mayor número, entre las cincuenta y las cien horas posteriores a su zunchado.

La prueba consistirá en someter el primario, en fábrica, durante quince minutos, a la presión de prueba del primario. El resultado de la prueba será satisfactorio si, como consecuencia de la misma, el tubo no presenta fisura alguna, sensiblemente longitudinal, superior a 0,2 mm. de abertura en 0,30 m. de longitud, ininterrumpidamente.

Cuando el primario elegido no satisfaga la prueba, se repetirá ésta sobre otras dos muestras que se elegirán al azar del lote. Si los resultados de las dos nuevas pruebas son satisfactorios, se aceptará el lote; en cuanto algunos de ellos sea desfavorable, los primarios que componen el lote no se considerarán aptos para la presión de timbre correspondiente, excepto los que ensayados uno a uno den resultado positivo.

- Prueba de agotamiento del primario

Se someterá a esta prueba un primario de cada lote de 200, salvo que el Director de obra autorice expresamente la formación de lotes de mayor número, entre las cincuenta y las cien horas posteriores a su zunchado.

La prueba consistirá en someter el primario, en fábrica, durante quince minutos, a la presión interna de agotamiento, que es aquella presión interna, que en ausencia de ovalizaciones, solicita al acero de pretensar a una tensión igual al 85 % de su carga de rotura.

El resultado de la prueba será satisfactorio si, como consecuencia de la misma el primario no presenta pérdida de agua.

Cuando el primario elegido no satisfaga la prueba, se repetirá ésta sobre otras dos muestras que se elegirán al azar del lote. Si los resultados de las dos nuevas pruebas son satisfactorios, se aceptará el lote; en cuanto algunos de ellos sea desfavorable, el lote quedará en entredicho. En este último caso, el lote se supondrá, en principio, apto para una presión de timbre igual a la original, disminuida en un kp/cm^2 . y se procederá a confirmarlo mediante la prueba a la nueva presión correspondiente.

9. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD POR TRAMOS.

Antes de empezar la prueba, deberán estar colocadas en su posición definitiva, todas las piezas especiales comprendidas en el tramo objeto de la prueba.

Los puntos extremos del tramo que se quiere probar, se cerrarán convenientemente, con válvulas de seccionamiento, si existen en la tubería, o con cierres especiales que se apuntalarán para evitar deslizamientos de los mismos o fugas de agua. Se comprobará cuidadosamente que las llaves intermedias, en el tramo de prueba, de existir, se encuentran completamente abiertas. Se comprobará que los anclajes indicados en el Proyecto están correctamente realizados.

La zanja, en condiciones normales, se rellenará solo parcialmente para dejar las juntas suficientemente descubiertas.

La bomba para introducir la presión hidráulica podrá ser manual o mecánica; pero en este último caso deberá estar provista de llaves de descarga o elementos apropiados para poder regular el aumento de presión. En cualquier caso, dispondrá de un manómetro debidamente tarado.

Se empezará por llenar lentamente de agua el tramo objeto de la prueba, dejando abiertos todos los elementos que puedan dar salida al aire, los cuales se irán cerrando después y sucesivamente de abajo hacia arriba, para comprobar que no existe aire en la tubería. Se procurará dar entrada al agua por la parte baja, para facilitar la expulsión del aire por la parte alta. Si esto no fuera posible, el llenado se hará aun más lentamente, para evitar que quede aire en la tubería. En el punto más alto, se colocará un grifo de purga para



expulsión del aire y para comprobar que todo el interior del tramo, objeto de la prueba se encuentra comunicado en la forma debida.

Antes de realizar la prueba, se tendrá la tubería llena de agua, al menos veinticuatro horas.

La prueba consistirá en someter el tramo de tubería, durante dos horas a la presión de prueba de estanqueidad, que es la máxima presión que puede producirse sin que en ninguna sección del tramo se rebase su presión máxima de trabajo.

El resultado de la prueba se considerará satisfactorio, si la cantidad de agua que debe suministrarse al tramo de tubería, mediante un bombín tarado, para mantener la citada presión de prueba, no es superior al valor V , dado por la fórmula:

$$V = K L d_i$$

en la cual:

V = Volumen total de pérdida de agua en la prueba, en litros.

L = Longitud del tramo objeto de la prueba, en metros.

d_i = Diámetro interior del tubo, en metros.

K = Coeficiente según el tipo de tubería. Para tubos con camisa de chapa, $K = 0,35$ litros por metro cuadrado.